

VARIABLE-CAPACITY CAPACITOR, ITS MANUFACTURE, AND ITS MECHANICAL RESONANCE FREQUENCY SETTING METHOD

Patent Number: JP10070040
Publication date: 1998-03-10
Inventor(s): FUJII YASUO
Applicant(s): MURATA MFG CO LTD
Requested Patent: JP10070040
Application Number: JP19960223895 19960826
Priority Number(s):
IPC Classification: H01G5/16
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a variable-capacity capacitor where the mechanical resonance frequency is made small without changing the electric series resistance of a cantilever member and Q.
SOLUTION: For this variable-capacity capacitor, a fixed electrode 2 to serve as one electrode of a variable-capacity capacitor is made at an insulating substrate 1, and a mobile electrode 4c' to serve as the other electrode of the variable-capacity capacitor is counterposed to this fixed electrode 2 through a gap g, and this mobile electrode 4c' is fixed to the insulating substrate 1 through a supporting arm 4b by a supporting base 4a', and the mobile electrode 4c' is displaced by electrostatic power generated between the fixed electrode 2 and the mobile electrode 4c' by the DC voltage applied between the fixed electrode 2 and the mobile electrode 4c' so as to get variable capacity. In this case, the thickness of the mobile electrode 4c' is made larger than the thickness of the supporting arm 4b.

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-70040

(43) 公開日 平成10年(1998) 3月10日

(51) Int.Cl.⁶

H 0 1 G 5/16

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 G 5/16

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平8-223895

(22) 出願日 平成 8 年(1996) 8 月26日

(71) 出願人 000006231

株式会社村田製作所

京都府長岡京市天神二丁目26番10号

(72) 発明者 藤井 康生

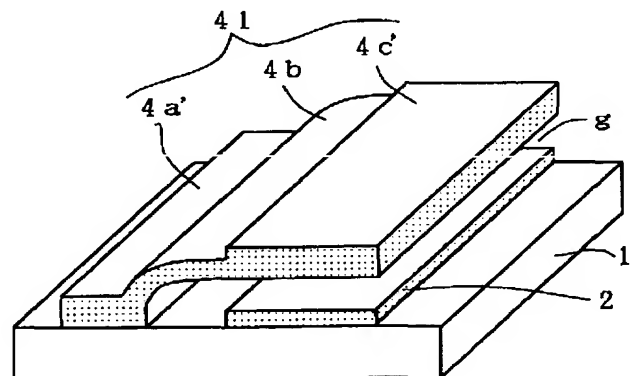
京都府長岡京市天神二丁目26番10号株式会
社村田製作所内

(54) 【発明の名称】 可変容量コンデンサ及びその製造方法並びにその機械的共振周波数設定方法

(57) 【要約】

【課題】 片持梁部材の電気的直列抵抗およびQを変えずに、機械的共振周波数を小さくした可変容量コンデンサを提供する。

【解決手段】 絶縁基板 1 に可変容量コンデンサの一方電極となる固定電極 2 が形成され、この固定電極 2 に対して可変容量コンデンサの他方電極となる可動電極部 4 c' が空隙 g を介して対向配置され、この可動電極部 4 c' は支持腕部 4 b を介して支持基部 4 a' により絶縁基板 1 に固定され、固定電極 2 と可動電極部 4 c' との間に印加した直流電圧により、固定電極 2 と可動電極部 4 c' との間に生じる静電力により可動電極部 4 c' を変位させて、可変容量を得るようにした可変容量コンデンサにおいて、可動電極部 4 c' の厚みが、支持腕部 4 b の厚みに対して、大きいことを特徴とする可変容量コンデンサ。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 絶縁基板に一方電極となる固定電極が形成され、この固定電極に対して他方電極となる可動電極部が空隙を介して対向配置され、この可動電極部は支持腕部を介して支持基部により前記絶縁基板に支持固定され、前記固定電極と前記可動電極部との間に印加した電圧により前記可動電極部を変位させて可変容量を得るようにした可変容量コンデンサにおいて、前記可動電極部の厚みと前記支持腕部の厚みを相互に違う厚みに構成したことを特徴とする可変容量コンデンサ。

【請求項 2】 前記支持腕部の厚みに対して、前記可動電極部の厚みを厚く構成したことを特徴とする請求項 1 記載の可変容量コンデンサ。

【請求項 3】 前記支持腕部の厚みに対して、前記可動電極部の厚みを薄く構成したことを特徴とする請求項 1 記載の可変容量コンデンサ。

【請求項 4】 絶縁基板に固定電極を形成し、前記固定電極表面と該固定電極に連なる前記絶縁基板の一部表面に跨って犠牲層を形成し、支持基部、支持腕部、および可動電極部の各部分からなる金属の片持梁部材であって、該支持基部を前記絶縁基板表面に形成し、前記可動電極部が前記固定電極表面に対向するように、該支持腕部および該可動電極部を前記犠牲層上に形成し、つぎに前記片持梁部材の前記可動電極部と前記支持腕部のいずれか一方の露出表面に金属を堆積して該一方の厚みを他方の厚みに比べて厚く形成し、その後、前記犠牲層をエッチングして除去することを特徴とする可変容量コンデンサの製造方法。

【請求項 5】 絶縁基板に固定電極を形成し、前記固定電極表面と該固定電極に連なる前記絶縁基板の一部表面に跨って犠牲層を形成し、支持基部、支持腕部、および可動電極部の各部分からなる金属の片持梁部材であって、該支持基部を前記絶縁基板表面に形成し、前記可動電極部が前記固定電極表面に対向するように、該支持腕部および該可動電極部を前記犠牲層上に形成し、つぎに前記片持梁部材の前記可動電極部と前記支持腕部のいずれか一方をエッチングして該一方の厚みを他方の厚みに比べて薄く形成し、その後、前記犠牲層をエッチングして除去することを特徴とする可変容量コンデンサの製造方法。

【請求項 6】 絶縁基板に固定電極が形成され、この固定電極に対し可動電極部が空隙を介して対向配置され、この可動電極部は支持腕部を介して支持基部により前記絶縁基板に支持固定され、前記可動電極部、支持腕部および支持基部は片持梁部材を構成し、前記固定電極と前記片持梁部材との間に印加した電圧により、前記可動電極部を変位させて可変容量を得るようにした可変容量コンデンサであって、

前記可動電極部と前記支持腕部の厚みを相対的に変えることにより、前記片持梁部材の機械的共振周波数を定めることを特徴とする可変容量コンデンサの機械的共振周波数設定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一方電極が固定で他方電極が変位可能な片持梁構造をした可変容量コンデンサおよびその製造方法並びにその機械的共振周波数設定方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、自動車衝突防止装置、簡易無線装置、無線ラン（LAN）などミリ波を使用するデバイスが商品化されつつある。これらのデバイスの VCO（電圧制御発振器）、周波数変調器などに使用される可変容量コンデンサの需要がある。この可変容量コンデンサとしては、従来バラクタダイオードがあるが、内部抵抗が大きく共振回路の Q を低下させるという問題がある。

【0003】これに対し、本発明者は、先に電氣的 Q の高い可変容量コンデンサとして、図 13 に示すように、支持基部 13a、支持腕部 13b および可動電極部 13c からなる片持梁部材 13 を有して機械的動作を伴うコンデンサを提案した（これを以下、「従来」という）。

【0004】この可変容量コンデンサの製造方法について説明する。絶縁基板 11 に可変容量コンデンサの一方電極となる固定電極 12 を形成する。つぎに、支持基部 13a、支持腕部 13b および可動電極部 13c からなる片持梁部材 13 を、その可動電極部 13c が固定電極 12 と空隙 g を介して対向するように絶縁基板 11 上に配置する。この場合、機械的共振周波数の低い可変容量コンデンサを製造するときには、片持梁部材 13 の全体の厚み、特に可動電極部 13c および支持腕部 13b の厚みを実線で示す通常の厚みよりは、破線で示すように、一律に薄く形成している。

【0005】また、機械的共振周波数の高い可変容量コンデンサを製造するときには、片持梁部材 13 の全体の厚み、特に可動電極部 13c および支持腕部 13b の厚みを実線で示す通常の厚みよりは、一点鎖線で示すように、一律に厚く形成している。

【0006】この図 13 に示す可変容量コンデンサは、固定電極 12 と可動電極部 13c との間に印加した直流電圧により、固定電極 12 と可動電極部 13c との間に静電引力が生じ、この静電引力により可動電極部 13c を固定電極 12 側に変位させて、所定の可変容量を得るようにしたものである。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記製造方法により製造された可変容量コンデンサについては、つぎのような問題点があった。即ち、可変容量コンデンサの機械的共振周波数を低くするために、片持梁部材 13

全体を薄く形成した場合には、確かに機械的共振周波数が低くなり、それと同時に、支持腕部13bのバネ定数即ち剛性も低下し、同一印加電圧に対して片持梁部材13の変位量も大きくなって低電圧駆動が可能となり容量変化も大きくなるが、その反対に、片持梁部材13の電氣的直列抵抗が大きくなってコンデンサの電氣的Qが小さくなっていた。

【0008】また、可変容量コンデンサの機械的共振周波数を大きくするために、片持梁部材13全体を厚く形成した場合には、確かに機械的共振周波数は高くなり、それと同時に、電氣的直列抵抗も低下してコンデンサの電氣的Qも大きくなるが、その反対に、支持腕部13bのバネ定数が大きくなって、同一印加電圧に対して片持梁部材13の変位量も小さくなって低電圧駆動ができず容量変化も小さくなっていた。

【0009】更に、可変容量コンデンサの設計時に、駆動電圧を中心に考えると、片持梁部材3の厚みが一律に決まってしまうため、可変容量コンデンサの機械的共振周波数を自由に定めることができないばかりか、コンデンサの電氣的Qも変化してしまう欠点があった。

【0010】そこで、本発明は、第1にコンデンサの電氣的Qが大きく機械的共振周波数の異なる可変容量コンデンサ、第2にこの可変容量コンデンサの電氣的Qを余り低下させることなく製造することのできる可変容量コンデンサの製造方法、第3に可変容量コンデンサの機械的共振周波数を変えて設計の自由度を高める機械的共振周波数設定方法をそれぞれ提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記目的を達成するために、下記の解決手段を採用することを特徴とする。

【0012】請求項1記載の発明は、絶縁基板に一方電極となる固定電極が形成され、この固定電極に対して他方電極となる可動電極部が空隙を介して対向配置され、この可動電極部は支持腕部を介して支持基部により前記絶縁基板に支持固定され、前記固定電極と前記可動電極部との間に印加した電圧により前記可動電極部を変位させて可変容量を得るようにした可変容量コンデンサにおいて、前記可動電極部の厚みと前記支持腕部の厚みを相互に違う厚みに構成したものである。

【0013】この発明は、可動電極部または支持腕部の厚みを相互に変えて、機械的共振周波数を変えるが、片持梁部材の電氣的直列抵抗およびコンデンサの電氣的Qは、支持腕部および可動電極部の厚みが同一のものに比べて余り変わらない。これは、可動電極部の抵抗と支持腕部の抵抗とは直列になるが、一方の厚みが薄くなってその抵抗が大きくなり、他方の厚みが厚くなってその抵抗が小さくなっているからである。

【0014】請求項2記載の発明は、前記支持腕部の厚みに対して、前記可動電極部の厚みを厚く構成したもの

である。

【0015】この発明は、片持梁部材の先端部に位置する可動電極部の厚みが支持腕部に比べて大きくなっているため、片持梁部材の先端部の質量が大きくなり、かつ、バネ定数即ち剛性が小さくなっているため、機械的共振周波数が小さくなる。片持梁部材の電氣的直列抵抗およびコンデンサのQは、支持腕部および可動電極部の厚みが同一のものに比べて余り変わらない。これは、可動電極の抵抗と支持腕部の抵抗とは直列になるが、支持腕部の抵抗が大きくなっているのに対して、可動電極の厚みが小さくなっているからである。

【0016】また、支持腕部の厚みが小さくなっているため、バネ定数が小さくなって、片持梁部材は従来と同一の印加直流電圧に対する変位が大きくなり、容量変化も大きくなる。そして、低電圧で従来と同一の容量変化を得ることができる。

【0017】請求項3記載の発明は、前記支持腕部の厚みに対して、前記可動電極部の厚みを薄く構成したものである。

【0018】この発明は、片持梁部材の先端に位置する可動電極部の厚みが支持腕部に比べて小さくなっているため、片持梁部材の先端部の質量が小さくなり、かつ、バネ定数即ち剛性が大きくなっているため、機械的共振周波数が大きくなる。片持梁部材の電氣的直列抵抗およびコンデンサの電氣的Qは、支持腕部および可動電極部の厚みが同一のものに比べて余り変わらない。支持腕部の厚みが大きくなっているため、バネ定数が大きくなって、従来と同一の直流電圧を印加した場合、変位は小さくなり、容量変化も小さくなるが、高い電圧を印加することにより従来と同一の容量変化を得ることができる。

【0019】請求項4記載の発明は、絶縁基板に固定電極を形成し、前記固定電極表面と該固定電極に連なる前記絶縁基板の一部表面に跨って犠牲層を形成し、支持基部、支持腕部、および可動電極部の各部分からなる金属の片持梁部材であって、該支持基部を前記絶縁基板表面に形成し、前記可動電極部が前記固定電極表面に対向するように、該支持腕部および該可動電極部を前記犠牲層上に形成し、つぎに前記片持梁部材の前記可動電極部と前記支持腕部のいずれか一方の露出表面に金属を堆積して該一方の厚みを他方の厚みに比べて厚く形成し、この後、前記犠牲層をエッチングして除去するものである。

【0020】この製造方法においては、犠牲層は、固定電極と可動電極の間に空隙幅を定めると共に、可動電極を支持する支持腕部の内側（固定電極側）形状を特定する。片持梁部材は当初全体を同じ厚みに形成する。そして、片持梁部材のバネ定数や電氣的直列抵抗を考慮して可動電極と支持腕部の何れか一方を追加して、その厚みを厚くする。この場合、支持基部の厚みに変更はない。

【0021】請求項5記載の発明は、絶縁基板に固定電極を形成し、前記固定電極表面と該固定電極に連なる前

記絶縁基板の一部表面に跨って犠牲層を形成し、支持基部、支持腕部、および可動電極部の各部分からなる金属の片持梁部材であって、該支持基部を前記絶縁基板表面に形成し、前記可動電極部が前記固定電極表面に対向するように、該支持腕部および該可動電極部を前記犠牲層上に形成し、つぎに前記片持梁部材の前記可動電極部と前記支持腕部のいずれか一方をエッチングして該一方の厚みを他方の厚みに比べて薄く形成し、この後、前記犠牲層をエッチングして除去するものである。

【0022】この製造方法においては、犠牲層は、固定電極と可動電極の間に空隙幅を定めると共に、可動電極を支持する支持腕部の内側（固定電極側）形状を特定する。片持梁部材は当初全体を同じ厚みに形成する。そして、片持梁部材のバネ定数や電氣的直列抵抗を考慮して可動電極と支持腕部の何れか一方をエッチングして、その厚みを薄くする。この場合、支持基部の厚みに変更はない。

【0023】請求項6記載の発明は、絶縁基板に固定電極が形成され、この固定電極に対し可動電極部が空隙を介して対向配置され、この可動電極部は支持腕部を介して支持基部により前記絶縁基板に支持固定され、前記可動電極部、支持腕部および支持基部は片持梁部材を構成し、前記固定電極と前記片持梁部材との間に印加した電圧により、前記可動電極部を変位させて可変容量を得るようにした可変容量コンデンサであって、前記可動電極部と前記支持腕部の厚みを相対的に変えることにより、前記片持梁部材の機械的共振周波数を定めるものである。

【0024】この方法に於いて、可動電極と支持腕部は、これらの厚みの一方を薄く構成した場合には他方を厚く構成する。この構成は、片持梁部材全体の直列の電氣抵抗の変動を小さくする。結果的に、可変容量コンデンサの電氣的Qの変動を小さくする。また、片持梁部材の機械的共振周波数は、ほぼ可動電極と支持腕部の質量に反比例し、支持腕部の厚みに比例すると考えることができる。そして、片持梁部材のバネ定数は、支持腕部の厚みに依存している。このことから、支持腕部の厚みを次第に薄く構成すれば、機械的共振周波数は次第に小さくなり、逆に支持腕部の厚みを次第に厚くすれば、機械的共振周波数は次第に大きくなる。なお、支持基部は、電氣抵抗および支持腕部の支持強度に影響を与えるので、支持梁部材の全体の構成を考慮してその厚みを決める。

【0025】また、機械的共振周波数は、可動電極の厚みを次第に厚くしていくと、換言すれば、可動電極の質量を増大すると次第に小さくなり、逆に厚みを次第に薄くすると質量の減少に伴って次第に大きくなる。

【0026】更に、支持腕部の厚みを薄く構成すれば、片持梁部材のバネ定数が小さくなるので、可動電極の位置を可変する印加電圧が低くてよい。これとは逆に、支

持腕部の厚みを厚く構成すれば、バネ定数は大きくなるので、印加電圧を高くする必要がある。

【0027】

【発明の実施の形態】

（構造の実施例1）以下に、本発明の可変容量コンデンサの構成について、図1を参照して説明する。

【0028】絶縁基板1にコンデンサの一方電極となる固定電極2が形成される。この固定電極2に対してコンデンサの他方電極となる可動電極部4c'が空隙gを介して対向配置される。この可動電極部4c'は支持腕部4bを介して支持基部4a'により絶縁基板1に支持固定される。この場合、支持腕部4bの厚みは、可動電極部4c'および支持基部4a'の厚みより薄く形成されている。そして、これらの支持基部4a'、支持腕部4b、可動電極部4c'は、片持梁部材41を形成する。

【0029】この可変容量コンデンサは、固定電極2と片持梁部材41との間に印加した直流電圧または交流電圧による静電吸引力により、可動電極部4c'と固定電極2との空隙gを変え、可動電極部4c'と固定電極2との間に形成される容量を変えるものであり、この容量可変の機能がVCO（電圧制御発振器）、周波数変調器などに使用される。

【0030】また、この可変容量コンデンサは、厚みの薄い支持腕部4bの抵抗と、厚みの厚い可動電極部4c'の抵抗とが直列になるので、片持梁部材41の電氣的直列抵抗およびコンデンサの電氣的Qが、従来の可動電極部と支持腕部の厚みが等しいものに比べて、余り変わらない。これは、電氣抵抗は片持梁部材41の各部の厚みに依存しており、厚み寸法が小さくなるにつれて電氣抵抗が高くなり、逆に厚み寸法が大きくなるにつれて電氣抵抗が小さくなるからである。支持腕部4bの電氣抵抗は従来の支持腕部の電氣抵抗より大きい。また、可動電極部4c'の電氣抵抗は従来の可動電極の電氣抵抗より小さい。

【0031】また、この可変容量コンデンサは、片持梁部材41の先端部に位置する可動電極部4c'の厚みが支持腕部4bに比べて厚くなっているため、支持腕部4bに対する可動電極部4c'の質量が相対的に大きくなり、かつ、可動電極4c'の厚みと同じ厚みのときに比べて支持腕部4bのバネ定数即ち剛性が小さくなっているため、機械的共振周波数が小さくなる。

【0032】また、支持腕部4bの厚みが可動電極4c'の厚みに比べて薄くなっているため、バネ定数が小さくなって、従来と同一の直流電圧を印加した場合、従来のものに比べて片持梁部材41の変位が大きくなり、容量変化も大きくなる。そして、従来より低い電圧で従来のものと同一の容量変化を得ることができる。

【0033】（構造の実施例2）つぎに、本発明の第2実施例の可変容量コンデンサの構造について、図7を参照して説明する。

【0034】絶縁基板1にコンデンサの一方電極となる固定電極2が形成される。この固定電極2に対してコンデンサの他方電極となる可動電極部4cが空隙gを介して対向配置される。この可動電極部4cは支持腕部4b'を介して支持基部4a'により絶縁基板1に固定される。この場合、支持基部4a'および支持腕部4b'の厚みは、可動電極部4cの厚みより厚く形成される。そして、支持基部4a'、支持腕部4b'および可動電極部4cは、片持梁部材42を形成する。

【0035】この可変容量コンデンサは、固定電極2と片持梁部材42との間に印加した直流電圧または交流電圧の静電吸引力により、可動電極部4cと固定電極2との空隙gを変えて、可動電極部4cと固定電極2との間に形成される容量を変えるものである。

【0036】また、この可変容量コンデンサにおいては、可動電極部4cはその厚みが支持基部4a'および支持腕部4b'に比べて薄くてその抵抗値は大きい、支持基部4a'および支持腕部4b'の厚みが可動電極部4cに比べて厚くて、その抵抗値が小さいので、片持梁部材42の電気的直列抵抗およびコンデンサのQは、従来の可動電極部と支持腕部の厚みが等しいものに比べて、余り変わらない。

【0037】また、この可変容量コンデンサは、片持梁部材42の先端部に位置する可動電極部4cの厚みが支持腕部4bに比べて薄くなっている、片持梁部材42の可動電極部4cの先端質量が小さくなり、かつ、支持腕部4bのバネ定数即ち剛性が大きくなっている、機械的共振周波数が大きくなる。また、支持腕部4b'の厚みが大きくなっている、バネ定数が大きくなって、従来と同一の電圧を印加すると、片持梁部材42の変位は小さくなって、容量変化も小さくなるが、直流の高電圧を印加することにより従来と同一の容量変化を得ることができる。

【0038】つぎに、図10において、支持腕部4bの厚みtを種々変えた場合の機械的共振周波数の変化を表1に示す。なお、片持梁部材4および固定電極2の幅(図10において奥行き)は500 μ mである。

【0039】

【表1】

t [μ m]	機械的共振周波数 [kHz]
0.5	122
1.0	307
1.5	456
2.0 (同一厚み)	529
2.5	583

【0040】この表1により、支持腕部4bの厚みtが可動電極部4cの厚みに比較して相対的に薄い場合には、機械的共振周波数が小さくなり、大きい場合には、

機械的共振周波数が大きくなることが理解できる。なお、表1において、t=2.0 μ mの場合は、可動電極部4cの厚みと支持腕部4bの厚みが同一の場合を示している。

【0041】(製造方法の実施例1) つぎに、本発明の可変容量コンデンサの第1実施例の製造方法について図2から図6を参照して説明する。

【0042】図2において、石英(SiO₂)よりなる絶縁基板1上に、チタン(Ti)を500 μ mの厚みに、その後、金(Au)を0.3 μ mの厚みに順次蒸着して成膜する。フォトリソを固定電極2の形状にパターンニング後、このフォトリソをマスクとして上層のAu膜の不要部分を王水で、下層のTi膜の不要部分をフッ酸でそれぞれエッチング除去して矩形状の固定電極2を形成する。図3において、絶縁基板1と固定電極2の上に酸化亜鉛(ZnO)をスパッタリングにより成膜する。フォトリソを犠牲層3の形状にパターンニング後、このフォトリソをマスクとしてZnO膜の不要部分をリン酸、硝酸および水の混合溶液でエッチング除去して犠牲層3を形成する。この犠牲層3は、固定電極2の上と、この固定電極2の一边を越えた基板1の上の一部分にも形成されている。

【0043】図4において、絶縁基板1および犠牲層3の上にアルミニウム(Al)をスパッタリングまたは蒸着により成膜する。フォトリソを片持梁部材4の形状にパターンニング後、このフォトリソをマスクとしてAl膜の不要部分をイオンミルまたはRIE(反応性イオンエッチング)により除去して、片持梁部材4を形成する。この片持梁部材4は、犠牲層3の上に設けた可動電極部4cと、犠牲層3に添着したように設けた支持腕部4bと、絶縁基板1の上に設けた支持基部4aとで形成されている。

【0044】図5において、絶縁基板1と片持梁部材4との上に、支持基部4aと可動電極部4c上に窓を有するレジストをパターンニングする。このレジストをマスクとして蒸着によりAlを成膜し、前記窓を通してAlが堆積されて厚みを増した支持基部4a'と可動電極4c'を形成する。そして、不要なレジストとその上のAl膜をリフトオフにより除去する。

【0045】なお、このリフトオフの他に、片持梁部材4を全体に厚く形成して、支持腕部4bに窓を有するレジストマスクを形成して、この窓を通してイオンミルあるいはRIEにより支持腕部4bを薄くドライエッチングしてもよい。

【0046】図6において、基板1全体を濃硝酸中に浸漬してZnOからなる犠牲層3をエッチング除去し、犠牲層3の後に空隙gの形成された本実施例の可変コンデンサを得る。このとき、Alは硝酸と反応して不動体を形成するためエッチングされない。また、60℃のアセチルアセトンの溶液を用いれば、Alを全く溶解すること

なく、ZnOのみをエッチング除去することができる。

【0047】本実施例の製造方法は、犠牲層3をエッチングして、この後に空隙gを形成し、支持腕部4bに比べて厚みの厚い支持基部4a'および可動電極部4c'からなる片持梁部材41を形成することができる。

【0048】（構造の実施例2）つぎに、本発明の第2実施例の可変容量コンデンサの構造について、図7を参照して説明する。

【0049】絶縁基板1にコンデンサの一方電極となる固定電極2が形成される。この固定電極2に対してコンデンサの他方電極となる可動電極部4cが空隙gを介して対向配置される。この可動電極部4cは支持腕部4b'を介して支持基部4a'により絶縁基板1に固定される。この場合、支持基部4a'および支持腕部4b'の厚みは、可動電極部4cの厚みより厚く形成される。そして、支持基部4a'、支持腕部4b'および可動電極部4cは、片持梁部材42を形成する。

【0050】この可変容量コンデンサは、固定電極2と片持梁部材42との間に印加した直流電圧または交流電圧の静電吸引力により、可動電極部4cと固定電極2との空隙gを変えて、可動電極部4cと固定電極2との間に形成される容量を変えるものである。

【0051】また、この可変容量コンデンサにおいては、可動電極部4cはその厚みが支持基部4a'および支持腕部4b'に比べて薄くてその抵抗値は大きい、支持基部4a'および支持腕部4b'の厚みが可動電極部4cに比べて厚くて、その抵抗値が小さいので、片持梁部材42の電気的直列抵抗およびコンデンサのQは、従来の可動電極部と支持腕部の厚みが等しいものに比べて、余り変わらない。

【0052】また、この可変容量コンデンサは、片持梁部材42の先端部に位置する可動電極部4cの厚みが支持腕部4bに比べて薄くなっている、片持梁部材42の可動電極部4cの先端質量が小さくなり、かつ、支持腕部4bのバネ定数即ち剛性が大きくなっている、機械的共振周波数が大きくなる。また、支持腕部4b'の厚みが大きくなっている、バネ定数が大きくなって、従来と同一の電圧を印加すると、片持梁部材42の変位は小さくなって、容量変化も小さくなるが、高電圧を印加することにより従来と同一の容量変化を得ることができる。

【0053】（製造方法の実施例2）つぎに、本発明の可変容量コンデンサの第2実施例の製造方法について図8および図9を参照して説明する。

【0054】本実施例の製造方法は、第1実施例の製造方法における第1工程（図2）～第3工程（図4）を同一にするので、その説明を援用する。

【0055】図4において、絶縁基板1と片持梁部材4との上に、支持基部4aと支持腕部4b上に窓を有するレジストをパターンニングする。このレジストをマスクと

して蒸着によりA1を成膜し、図8に示すように、前記窓を通してA1が堆積されて厚みを増した支持基部4a'と支持腕部4b'を形成する。そして、不要なレジストとその上のA1をリフトオフにより除去する。

【0056】なお、このリフトオフの他に、片持梁部材4を全体に厚く形成して、可動電極部4cに窓を有するレジストマスクを形成して、この窓を通してイオンミルあるいはRIEにより可動電極部4cを薄くエッチングしてもよい。

【0057】図9において、基板1全体を濃硝酸中に浸漬してZnOからなる犠牲層3をエッチング除去し、犠牲層3の後に空隙gの形成された本実施例の可変コンデンサを得る。

【0058】以上のように、本実施例の製造方法は、図8に示す工程において、支持基部4aと支持腕部4bの上に窓を有するレジストマスクを形成し、この窓を通してアルミニウムを堆積するので、可動電極部4cに比べて支持基部4a'および支持腕部4b'の厚みの厚い片持梁部材42を形成することができる。

【0059】（製造方法の第3実施例）本発明に係る可変容量コンデンサの製造方法としては、上記製法の他に、図4において、支持基部4a、支持腕部4bおよび可動電極部4cからなる片持梁部材4を設計上の最大値の厚さに形成した後、可動電極部4cまたは支持腕部4bを周知のエッチング技術を用いて選択的にエッチングして、これらの部分の厚みを薄く形成してもよい。

【0060】（周波数設定方法の実施例）本発明の可変容量コンデンサの機械的共振周波数設定方法について説明する。ギガヘルツ（GHz）台の高周波の回路、例えば、高周波発振回路に用いる可変容量コンデンサは、コンデンサの電気的Qが高い方が高周波回路のQを低下させないためには好ましい。また、可動電極部を有する可変容量コンデンサは、その機械的共振周波数が高い方が可変容量コンデンサの動作周波数の適用領域を広げる観点から望ましい。

【0061】可変容量コンデンサの電気的Qは、コンデンサの静電容量と端子間抵抗により求められる。この静電容量は、例えば図1において、固定電極2と可動電極部4c'の対向面積と両者間の空隙gに依存し、また、端子間抵抗は、固定電極2および片持梁部材41の電気抵抗、特に、固定電極2に比べて長く構成されている片持梁部材41の電気抵抗に依存している。片持梁部材41の電気抵抗は、可動電極部4c'の電気抵抗、支持腕部4bの電気抵抗および支持基部4a'の電気抵抗が直列に接続された抵抗と考えることができ、可動電極部4c'、支持腕部4b、支持基部4a'の厚みを変更することにより変えることができる。可動電極部、支持腕部の厚みを厚く構成するとそれらの電気抵抗は小さくなり、逆に厚みを薄くすると電気抵抗は大きくなる。

【0062】可変容量コンデンサを設計する場合には、

コンデンサの初期容量（可変操作開始前の容量）およびコンデンサの容積が優先的に決められる。従って、可動電極部4c'の面積および支持腕部4bの長さを変更要素とすることは考慮されない。このため、片持梁部材41の機械的共振周波数は、主に可動電極部4c'と支持腕部4bの厚みに依存して決められる。一方、コンデンサの電氣的Qを重視する観点からは、片持梁部材41の電気抵抗を大幅に変えることは好ましくなく許容値の範囲内に維持することが必要になる。

【0063】片持梁部材41の機械的共振周波数は、可動電極部4c'と支持腕部4bの質量に比例する。従って、可動電極部4cと支持腕部4bの何れか一方または双方の厚みを可変要素とすれば、機械的共振周波数を変えることができる。また、片持梁部材41の機械的共振周波数は、支持腕部4bの厚みに比例する。従って、支持腕部の厚みを可変要素とすれば、機械的共振周波数を変えることができる。上述の考察に基づいて、可動電極部4c'と支持腕部4bの厚みを相対的に変えることにより、コンデンサの電氣的Qを許容値の範囲に維持しつつ、片持梁部材41の機械的共振周波数を所定の周波数に定めることができる。ここで、相対的とは、可動電極部4c'と支持腕部4bの厚みが同一でないことをいい、換言すれば、一方から見ると他方は厚く、他方から見ると一方は薄い関係にあることをいう。

【0064】更に、可変容量コンデンサの設計には、片持梁部材41のバネ定数が考慮される。このバネ定数は、支持腕部4bの厚みに依存している。支持腕部4bの厚みを次第に薄くするとバネ定数は小さくなり、逆に、支持腕部4bの厚みを次第に厚くするとバネ定数は次第に大きくなる。従って、固定電極2と片持梁部材41の間に印加する直流電圧を低くする場合は、支持腕部4bの厚みを薄く構成することが必要である。また、図7に示すように、支持腕部4bのバネ定数が大きい場合には、可動電極部4cを変位させるために固定電極2と片持梁部材42の間に大きな直流電圧の印加が必要になる。

【0065】実際の変容量コンデンサの設計には、上述の種々の制約を考慮して、図1に示すように、片持梁部材41の厚み、特に、可動電極部4cと支持腕部4bの厚みの設計上の上限と下限、つまり最大許容値と最小許容値を定める。この上限と下限の間の厚みが可動電極部4c'と支持腕部4bの厚みを定める許容範囲となり、この許容範囲には、図13に示すように可動電極部13cと支持腕部13bの厚みが等しいものが存在する。

【0066】従って、可動電極部4cと支持腕部4bの厚みを相対的に変える方法には、第1に、可動電極部4cと支持腕部4bの設計上の下限の厚みから可動電極部4cまたは支持腕部4bの厚みを厚く形成する方法、第2に、可動電極部4cと支持腕部4bの設計上の上限の

厚みから可動電極部4cと支持腕部4bの厚みを択一的に薄く加工する方法、第3に、可動電極部4cと支持腕部4bの標準の厚みから一方を薄く構成し他方を厚く構成する方法がある。

【0067】つぎに、可変容量コンデンサの具体的な機械的共振周波数設定方法を述べる。図4において、片持梁部材4の厚みを設計上の最大許容値に形成する。この後、可変容量コンデンサの使用周波数に応じて、図11に示すような実測グラフを参照しながら、例えば、エッチング技術などにより、支持腕部4bの厚みを薄く加工するか、または、可動電極部4cの厚みを薄く加工することにより、所期の機械的共振周波数を有する可変容量コンデンサを得る。

【0068】また、図4において、片持梁部材4の可動電極部4cと支持腕部4bの厚みを設計上の最小許容値に形成する。この後、可変容量コンデンサの使用周波数に応じて、図11に示すような実測グラフを参照しながら、例えば、蒸着、スパッタリング、メッキなどにより、支持腕部4bの厚みを厚く加工するか、または、可動電極部4cの厚みを厚く加工することにより、所期の機械的共振周波数を有する可変容量コンデンサを得る。

【0069】上述の方法に於いて、図1に示すように、支持腕部4bの厚みを薄くすると可動電極部4c'の厚みは相対的に厚くなる。支持腕部4bの厚みを薄く構成すると、支持腕部4bの電気抵抗が大きくなると共にバネ定数が小さくなり、また、図11に示すように、片持梁部材41の機械的共振周波数は低くなる。図1に示すように、可動電極部4c'の相対的に厚い厚みは、可動電極部4c'の電気抵抗を小さくし支持腕部4bに於ける電気抵抗の増大を補うことになると共に可動電極4c'の質量を増大して機械的共振周波数を低下させる。つまり、図12における機械的共振周波数 f_0 を低い方（図の左側）に移行し、可変容量コンデンサの動作周波数の適用範囲 f を狭める。

【0070】一方、図7に示すように、支持腕部4b'の厚みを厚くすると可動電極部4cの厚みは相対的に薄く構成される。支持腕部4b'の厚みを厚く構成すると、支持腕部4b'の電気抵抗が小さくなると共にバネ定数が大きくなり、図11に示すように、片持梁部材42の機械的共振周波数は高くなる。図7に示すように、可動電極部4cが支持腕部4b'より薄い厚みは、可動電極の質量を減少して機械的共振周波数を大きくする。つまり、図12における機械的共振周波数 f_0 を高い方（図の右側）に移行し、可変容量コンデンサの動作周波数の適用範囲 f を拡大する。

【0071】上述の構成により、可変容量コンデンサの機械的共振周波数を変えて、可変容量コンデンサの設計の自由度を向上させることができる。

【0072】なお、この可変容量コンデンサの機械的共振周波数の設定方法は、片持梁部材を作成後、その機械

的共振周波数が目的とする機械的共振周波数からずれていた場合の機械的共振周波数の調整方法としても適用される。

【0073】

【発明の効果】請求項1記載の発明は、可動電極部または支持腕部の厚みを相互に違う厚味にしたので、コンデンサの電氣的Qを、支持腕部および可動電極部の厚みが同一のものに比べて余り変えずに維持することができる。また、コンデンサの電氣的Qを維持しつつ機械的共振周波数を変えることができる。したがって、可変容量コンデンサの用途に応じて動作周波数の適用範囲を決めることができる。

【0074】請求項2記載の発明は、支持腕部の厚みに比べて可動電極部の厚みが大きくなっているため、片持梁部材の電氣的直列抵抗およびコンデンサの電氣的Qは余り変わらずに、機械的共振周波数が低くなる。また、低電圧駆動が可能で、片持梁部材の変位も大きく、容量変化を大きくする。

【0075】請求項3記載の発明は、支持腕部の厚みに比べて可動電極部の厚みが小さくなっているため、片持梁部材の電氣的直列抵抗および電氣的Qを余り変えずに、機械的共振周波数を高くすることができる。

【0076】請求項4記載の発明は、支持腕部の厚みに対し可動電極部の厚みを厚く形成する。これにより、電氣的直列抵抗および電氣的Qを余り変えることなく、機械的共振周波数を小さくすることができる。

【0077】請求項5記載の発明は、可動電極部の厚みに対し支持腕部の厚みを厚く形成する。これにより、電氣的直列抵抗およびコンデンサの電氣的Qを余り変えることなく、機械的共振周波数を大きくすることができる。

【0078】請求項6記載の方法を採用することにより、可変容量コンデンサの電氣的Qを大きく変えることなく、可変容量コンデンサの機械的共振周波数を設定ないし調整することができ、これにより可変容量コンデンサの動作周波数の利用領域を変えることができる。また、機械的共振周波数設定手段としては、片持梁部材の可動電極と支持腕部の厚みを変更要素として用いるので、用途に応じて可変容量コンデンサの機械的共振周波数を高低いずれにも設定ないし調整することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の可変容量コンデンサの第1実施例の斜視図

【図2】 本発明の可変容量コンデンサの製造方法の第1実施例において、絶縁基板に固定電極を形成する工程図

【図3】 同じく、固定電極およびその周囲の絶縁基板に犠牲層を形成する工程図

【図4】 同じく、犠牲層および絶縁基板上に、膜形成手段により、可動電極部、支持腕部および支持基部よりなる支持梁部材を形成する工程図

【図5】 同じく、膜形成手段により支持基部および可動電極部の厚みを厚くする工程図

【図6】 同じく、基板全体をエッチング液に浸漬して犠牲層を除去し、その後に空隙を形成する工程図

【図7】 本発明の可変容量コンデンサの第2実施例の斜視図

【図8】 本発明の可変容量コンデンサの製造方法の第2実施例において、膜形成手段により支持基部および支持腕部の厚みを厚くする工程図

【図9】 同じく、基板全体をエッチング液に浸漬して犠牲層を除去し、その後に空隙を形成する工程図

【図10】 本発明の可変容量コンデンサの製造方法において、支持腕部の厚み t を変えた場合の具体例を示す図

【図11】 同じく、支持腕部の厚み t に対する機械的共振周波数の特性図

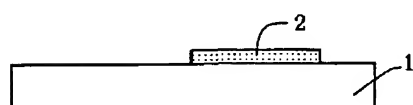
【図12】 同じく、機械的共振周波数に対する振幅の特性図

【図13】 従来の可変容量コンデンサの形態図

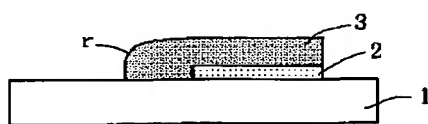
【符号の説明】

1	絶縁基板
2	固定電極
3	犠牲層
4、4 i、4 2	片持梁部材
4 a、4 a'	支持基部
4 b、4 b'	支持腕部
4 c、4 c'	可動電極部
g	空隙

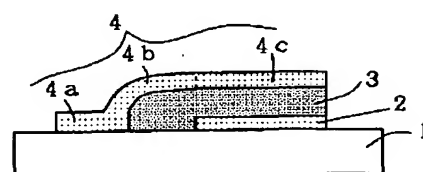
【図2】



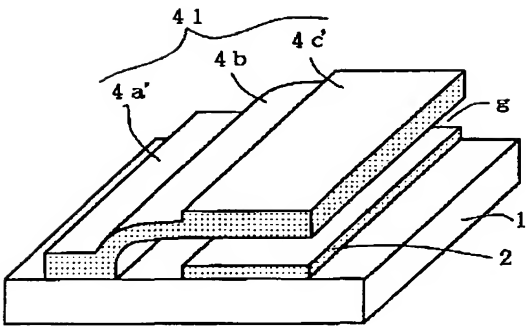
【図3】



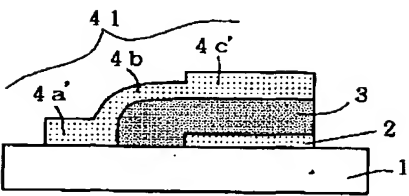
【図4】



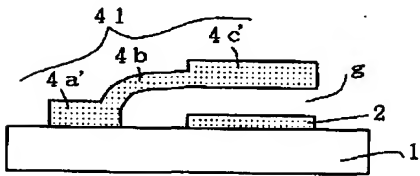
【図1】



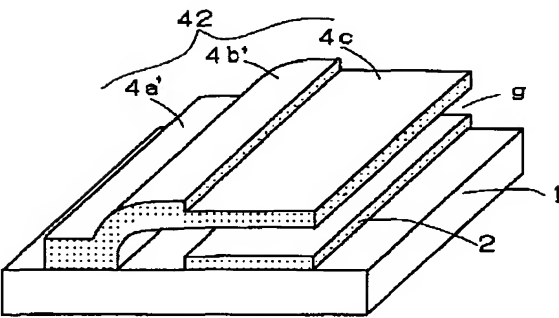
【図5】



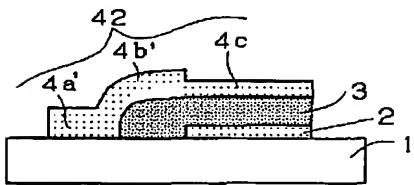
【図6】



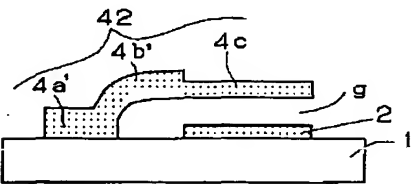
【図7】



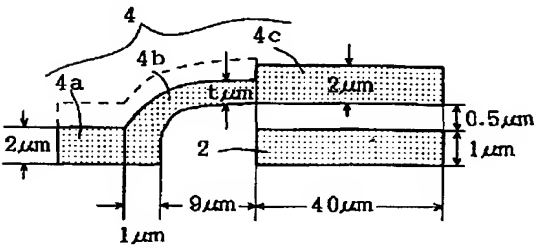
【図8】



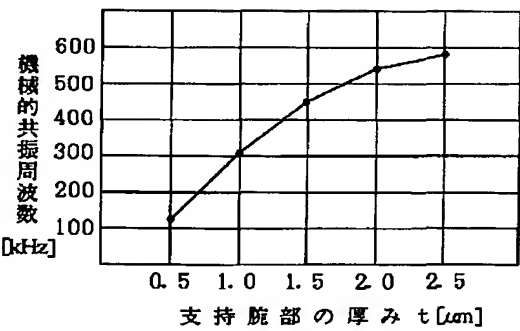
【図9】



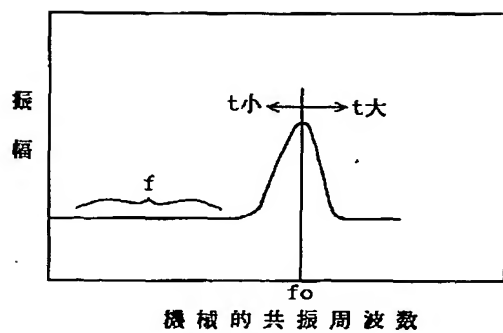
【図10】



【図11】



【図12】



【図13】

